

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-318994

(43)Date of publication of application : 08.12.1995

(51)Int.Cl.

G02F 1/37

(21)Application number : 06-151625

(71)Applicant : NIPPON STEEL CORP

(22)Date of filing : 08.06.1994

(72)Inventor : SUZUKI KAZUO  
YAMAMOTO YUKIHIRO

(30)Priority

Priority number : 05164017  
06 81006Priority date : 08.06.1993  
28.03.1994Priority country : JP  
JP

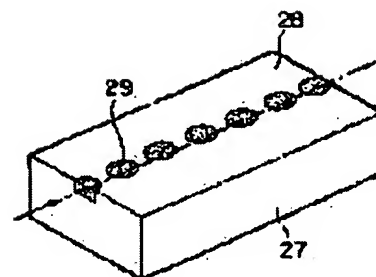
## (54) HARMONIC GENERATING ELEMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain such a harmonic generating element having a discrete type waveguide structure that loss due to scattering of light is decreased, the wavelength conversion efficiency is high, and the element is produced in a simple process and easily designed by forming almost curved faces at the border between a polarization inversion region and a region without inversion.

CONSTITUTION: The Z-plane of a KTP single crystal is used as a substrate 27. A Ti thin film is formed on the Z-plane 28 of the substrate 27. Then a photoresist is applied, exposed to light through a photomask having a form for a polarization inversion region 29, and developed to form the pattern in the resist.

Further, the pattern is formed on the Ti film by chemical etching and the substrate is heat treated in a mixture soln. of  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  and  $\text{RbNO}_3$  to replace part of K ion in KTP ion with Rb to form a cylindrical polarization inversion region 29. In this process, the border of the polarization inversion region is made almost cylindrical surface. If a material having different conditions for ion exchange, for example, lithium tantalate is used, a spherical plane is formed.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

27.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3448350

[Date of registration]

04.07.2003

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-318994

(43) 公開日 平成7年(1995)12月8日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 F 1/37

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平6-151625

(22) 出願日 平成6年(1994)6月8日

(31) 優先権主張番号 特願平5-164017

(32) 優先日 平5(1993)6月8日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平6-81006

(32) 優先日 平6(1994)3月28日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 鈴木 和雄

東京都千代田区大手町2丁目6番3号 新

日本製鐵株式会社内

(72) 発明者 山本 幸弘

神奈川県川崎市中原区井田1618番地 新日

本製鐵株式会社先端技術研究所内

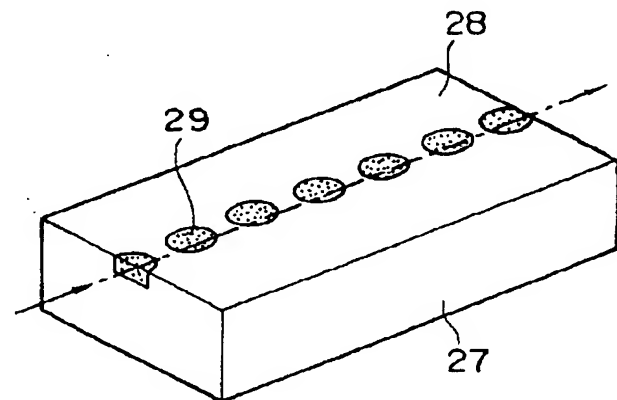
(74) 代理人 弁理士 半田 昌男

(54) 【発明の名称】 高調波発生素子

(57) 【要約】

【目的】 光の散乱による損失を減じ、変換効率を向上させることができる離散型構造の高調波発生素子を提供することを目的とする。

【構成】 非線形光学材料に周期的な分極反転部と非反転部を形成し、入射光と $n$ 次高調波の位相の疑似的な整合を図り、かつ離散型の光導波路を形成する高調波素子において、分極反転部と非反転部の境界を略曲面とする。また、非線形光学材料に導波路構造があり、この導波路内部で $n$ 次の高調波が発生するような機構を設け、光の入射端面での光結合を容易にする為のレンズ状の集束機構を設ける。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 非線形光学材料に、コヒーレント光を入射させ、該入射光を半分以下の波長を有するn次高調波に変換する高調波発生素子において、

該入射光の進行方向に対して、該非線形材料の非線形分極の向きをコヒーレンス長の周期で反転させることで、該入射光の位相と、発生する該n次高調波の位相を疑似的に整合する機構を持ち、

該周期的な非線形分極の反転部の屈折率が非反転部の屈折率と異なることを利用して、離散型の光導波路を構成する様な構造を持ち、

該非線形分極の反転部と非反転部の境界が、略曲面であることを特徴とする、高調波発生素子。

【請求項2】 前記非線形光学材料としてKTPを用い、周期的な非線形分極をKTPの中のKイオンの一部をその他の金属イオンと交換することで達成することを特徴とする、請求項1記載の高調波発生素子。

【請求項3】 前記周期的な非線形分極の反転部の屈折率が非反転部の屈折率より高い場合は、分極反転部が非反転部に対して凸である様な略曲面を持ち、

または非線形分極の反転部の屈折率が非反転部の屈折率より低い場合は、分極反転部が非反転部に対して凹である様な略曲面を持ち、

かつ離散型の光導波路に伝搬される光が収束されるような条件を持つことを特徴とする請求項1又は2記載の高調波発生素子。

【請求項4】 前記周期的な非線形分極の反転部の光の導波方向の長さを $L_1$ 、非反転部の光の導波方向の長さを $L_2$ とし、前記略曲面によって作られるレンズ構造の焦点距離を $f$ 、非線形材料での光の伝搬定数 $k$ 、該非線形分極の反転部の幅を $D$ とすると、

$L_1 \geq L_2$  の場合、

$$4k^2 \times D^4 / (L_1 + L_2) \geq f \geq L_1 / 2$$

または $L_2 / 2 \geq f \geq L_1 \times L_2 / [2(L_1 + L_2)]$

$L_2 \geq L_1$  の場合、

$$4k^2 \times D^4 / (L_1 + L_2) \geq f \geq L_2 / 2$$

または $L_1 / 2 \geq f \geq L_1 \times L_2 / [2(L_1 + L_2)]$

の条件を満たすことで前記の光導波路を伝搬させる光が収束される条件を満たすことを特徴とする、請求項3記載の高調波発生素子。

【請求項5】 非線形光学材料に、コヒーレント光を入射させ、該入射光を半分以下の波長を有するn次高調波に変換する様な高調波発生素子において、

該非線形光学材料に光導波路構造があり、該光導波路内部で入射光がn次高調波に変換される構造を有し、

該高調波発生素子の光入射端面に、該入射光が該光導波路に光結合する為のレンズ状の光集束機構を設けたこと

を特徴とする高調波発生素子。

【請求項6】 前記高調波発生素子の光導波路が光入射端面近傍において存在せず、かつ該光入射端面近傍に該非線形光学材料より屈折率が高い部分があり、該屈折率の高い部分の境界が周辺に対して凸なる略曲面を持つことにより前記光集束機構を構成していることを特徴とした請求項5記載の高調波発生素子。

【請求項7】 前記高調波発生素子において、前記入射光の進行方向に対して、前記非線形材料の非線形分極の向きをコヒーレンス長の周期で反転させることで、該入射光の位相と、発生する該n次高調波の位相を疑似的に整合する機構を持ち、

該周期的な非線形分極の反転部の屈折率が非反転部の屈折率に比べて高いことを利用して、離散型の光導波路を構成する様な構造を持つことを特徴とする請求項6記載の高調波発生素子。

【請求項8】 前記高調波発生素子において前記非線形分極の反転部と非反転部の境界を、略曲面とすることで、光の集束機能を有する離散型の光導波路を形成することを特徴とする請求項7記載の高調波発生素子。

【請求項9】 前記高調波発生素子において、前記光入射端面部の前記光集束機構と、前記光導波路が、前記非線形光学材料の表面から該非線形材料の一部を別な物質で置換するか又は別の物質を不純物として拡散させることで同時に形成されることを特徴とする請求項7又は8記載の高調波発生素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、短い波長のコヒーレント光を得るため、レーザ等の安定で高出力のコヒーレント光源を用い、その波長を半分以下とする高調波発生素子に関する。

【0002】

【従来の技術】変換効率の高い高調波発生素子、たとえばSHG（第二高調波発生）素子を得る為には、素子中で入射光と発生するSHG光の間の位相を合わせるようなものとするのが重要である。バルク素子の場合にはSHG結晶の屈折率異方性を利用して、結晶の光軸に対する角度を調整することで、位相整合がとられている。

【0003】またSHG発生効率をより高めるため、導波路構造により光強度を高める方法が採用されている。高調波発生素子の変換効率は素子中の光強度に比例して高くなるので、導波路構造により素子内部で光を集束することによって、光強度を高めることができる。導波路構造での位相整合の方法として、各種のものが提案されている。この中で、実用的なものとしては、例えばP.K. Tien et al.: Appl. Phys. Lett. 14(1970)291に示されるチェレンコフ放射を用いるものと、例えばS. Somekh et al.: Appl. Phys. Lett. 21(1972)140に示される周期構造を用いて疑似的に位相を整合させるものがある。前者は導

波路構造が単純であるが、SHG光が導波路に対して一定の角度を持った放射状に発生するため、集光の為に複雑な光学系を要すると言う問題点があり、後者は構造が複雑で、製造工程が長い等の問題点があるが、SHG光が導波路モードで伝搬されるため、集光が容易であるという特徴がある。

【0004】疑似位相整合の方法では、一般に疑似位相整合の為に周期構造と、光を導波する為の導波路構造は別個に設けられ、この事が、素子の構造をより複雑にしている。しかし、J.D.Bierlein et al.:Appl.Phys.Lett.56(1990)1725 に発表された方法は、KTP(KTiOPO<sub>4</sub>)結晶にイオン交換により、周期的に分極の反転構造を形成し、かつ分極の反転部分が離散型の導波路を形成するものであり、プロセスが簡単であり、疑似位相整合の構造を有するSHG素子としては最も実用的なものの一つである。本方法では、分極の反転をコヒーレント長より短いセグメントに細分して位相整合を得る、平衡位相整合法を用いて、位相整合の条件を緩やかにしている。また分極反転部の屈折率差が小さく、反射損失が少ないこと、反転部の間隔をフレネル長に対して十分に小さく

【0005】

【発明が解決しようとする課題】この様に、周期的な分極反転による平衡位相整合と離散型の光導波路を併用する素子は、最も実用的なSHG素子の一つである。しかしまだ、真に実用的な素子を作成するには十分と言えない。離散型の光導波路構造では、分極反転部の間隔をフレネル長より短くすることで回折損失を少なくしているが、実際には境界面での反射と回折による損失を零にすることはできない。通常SHG素子では光の伝搬方向に100以上の離散型構造を設ける為、僅かな損失でも、それが累積することで、全体の損失が大きくなり、導波路を伝搬して有効に利用できるSHG光が減少し、全体のSHG変換効率が高くならず、また各離散構造からの損失光が回折して光出力に重なる為、出力光が一点に収束できないという問題点があった。また損失を少なくする必要から分極部の間隔を自由に選択することが出来ないため、位相整合の為に条件に制約が生じ、構造的な自由度が低いという問題点もあった。

【0006】またその他の問題としては、導波路の形成に非常に高精度なプロセスが要求される点がある。一般に導波路構造を有するSHG素子では導波路の損失は基板と光閉じ込め領域の境界の面精度が大きく反映するため、損失を少なくする為には導波路の境界面精度を波長の数分の一以下までに上げる必要がある。現状の導波路形成プロセスはフォトリソのパターンをフォトリソに転写し、その部分のイオン交換等を行う方法であるので、境界面の精度の要求を満たすのが困難であるという

問題点があった。

【0007】また導波路構造に関わる他の問題点としては、SHG変換効率は伝搬する光の電界強度の2乗に比例する為、導波路の幅が狭い程効率が上がるのであるが、実際のプロセスでは波長オーダーの細い導波路を形成するのは困難であった。

【0008】更に、光導波路を用いる高調波発生素子は、高調波変換効率を高くする為に、導波路内部単一横モードで光を伝搬させる必要があるが、この場合の光導波路の幅は光の波長のオーダーである数 $\mu\text{m}$ 程度である。入射レーザー光をレンズを用いて導波路の端面に集束する場合、集束点の位置と導波路の端面の位置を $\mu\text{m}$ オーダーで合わせることがあるため、高い機械的精度と安定度が求められ、光を効率良く光導波路に入射することは困難であり、また入射光の結合による損失が大きいという問題点があった。

【0009】また疑似位相整合方式を用いるSHG素子すべてに共通の問題としてSHG光を効率良く発生する為の許容幅が極めて狭いことがある。許容波長は通常の可視光から近赤外光は0.1nm以下であることが一般的である。この為入射するレーザー光の波長を高精度でSHG素子の許容波長に整合させ、かつ安定化させる必要があるが、出力波長が温度や駆動電流で変化する一般的で安価な半導体レーザーを光源として用いることが困難であるという問題点があった。

【0010】そこで、本発明は周期的な分極反転構造と離散型の光導波路を併用する素子において、上記の問題点を解決し、光の散乱による損失を減じ、高い波長変換効率を持ち、かつ製造プロセスが簡単で設計が容易な離散型導波路構造を持つ高調波発生素子を提供することを目的とする。

【0011】また、本発明は、導波路への光結合を容易にし、かつ、光結合の効率を高めることができる高調波発生素子を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するため、非線形光学材料に周期的な分極反転部と非反転部を形成して、入射光とn次高調波の位相の疑似的な整合を図り、かつ離散型の光導波路を形成する構造の高調波発生素子において、分極反転部と、非反転部の境界が略曲面であることを特徴とするものである。

【0013】特に上記高調波発生素子の非線形光学材料として、KTPを用い、かつ、カリウム(K)イオンの一部を他の金属イオンに置換することで、分極反転を形成する手段を設けたものである。

【0014】また上記高調波発生素子において、その曲面を分極の反転部が非反転部に対して屈折率が高い場合は凸とし、低い場合は凹として、離散型の導波路で光が収束されるようにしたものである。

【0015】さらに、また上記離散型の導波路で光が収

束される為に、分極反転部の長さを $L_1$ 、分極非反転部の長さを $L_2$ 、分極反転部と非反転部の境界における略曲面によって形成されるレンズ構造の焦点距離を $f$ とし、

$L_1 \geq L_2$  の場合、

$$4k^2 \times D^2 / (L_1 + L_2) \geq f \geq L_1 / 2$$

または  $L_2 / 2 \geq f \geq L_1 \times L_2 / [2(L_1 + L_2)]$

$L_2 \geq L_1$  の場合、

$$4k^2 \times D^2 / (L_1 + L_2) \geq f \geq L_2 / 2$$

または  $L_1 / 2 \geq f \geq L_1 \times L_2 / [2(L_1 + L_2)]$

の条件を満たすようにしたものである。ここで、 $k$ は伝搬係数、 $D$ は光導波路の幅である。

【0016】更に、本発明は上記課題を解決するため、導波路構造を有する高調波発生素子において、入射光が導波路に結合する為のレンズ状の光集束機構を素子端面に設けたものである。

【0017】特に、その素子端面の近傍に周辺に対して凸なる形状を持つ屈折率の高い部分を設けてレンズ作用を持たせることで光集束機構を構成したものである。

【0018】また、上記の光集束機構と併用して、光導波路内部で光の進行方向に対して非線形分極の方向をコヒーレンス長の周期で反転させて入射光と高調波の疑似的な位相整合を行い、かつ分極の反転部分の屈折率が非線形光学材料基板よりも高い事を利用して離散型の光導波路構造を設けたものである。

【0019】さらに、高調波発生素子において非線形分極の反転部と非反転部の境界を、略曲面とすることで、光の集束機能を有する離散型の光導波路を形成したものである。

【0020】このような導波路構造と入射端面の光結合用光集束機構を有する高調波発生素子において、レンズ機能を有する光集束機構と高調波発生のための光導波路を同一の不純物拡散によるプロセスにより形成する事ができる。

【0021】

【作用】本発明の高調波発生素子によれば、光が収束し、光の散乱による損失が減じ、変換効率を向上させることになる。

【0022】また、本発明の高調波発生素子によれば、入射光と高調波発生素子の光結合の効率が向上し、かつ入射光と高調波発生素子の位置合わせが容易になり、高周波変換の許容波長域が広がる為、短い波長のレーザー光源を得ることが容易になる。

【0023】

【実施例】以下に本発明の一実施例について図面を用いて説明する。図2は従来の離散型導波路構造のSHG素子を示す。ハッチングを施した所(1)は基板(2)の一部をイオン交換等で分極を反転し、かつ屈折率を基板

に対して高めた部位である。入射光(3)は離散型導波路構造を通過する間にSHG光(4)に変換される。このような離散型構造の導波路に光が伝搬する様子を図3に示す。図3(a)は基板の横方向からみた断面構造であり、図3(b)は基板の上方向から見た断面である。分極反転部分(5)の屈折率は一般に基板(6)に対して数%程度しか高くないため、横方向から見た伝搬光の光強度(7)は上下に非対称で、基板に相当入り込んだ状態となっている。また上方向から見た場合は伝搬光の光強度(8)は左右対称に広がっている。

【0024】分極反転部の間の部位では光を閉じ込める為の構造が無い為、伝搬してきた光は境界部位で基板の中に放出されることになる。図4はこの様な導波路

(9)から放出された光の広がり状態(10)を示す。導波路の幅(11)を $2a$ 、伝搬する光の波長を $\lambda$ 、とすれば、光は遠方で角度 $\theta = \lambda/a$ で広がる(12)。しかし距離が近い部位、特にフレネル長として定義される $a^2/\lambda$ 以下の距離では光の広がり小さく、大部分の光が次の導波路構造(13)に結合する。これが離散型導波路の原理である。しかし図4からも明らかな様に、例えばフレネル長以下でも若干の光の広がりがあり、それが損失となる。

【0025】また導波路の境界面(14)において、光は導波路と基板の屈折率差で決まる臨界面角で導波路内部に閉じ込められており、導波路の境界面の粗度が直接導波路を伝搬する光の損失に影響する。

【0026】次に本発明の原理を図5を用いて説明する。図5は本発明に於ける離散型素子構造の周期要素を拡大して上面から見たものである。本発明の特徴は離散型構造において、分極反転部(15)(26)を光の伝搬方向に対してその境界部(16)(17)を略曲面、たとえば略球面とすることにある。曲面としては楕円、放物面、球面、円筒面等がある。分極反転部(15)(26)の屈折率が基板(18)の屈折率に比べて高い場合は、境界部(16)(17)の曲面を基板(18)に対して凸とすることで、この境界部はレンズとして働き、伝搬する光(19)を収束する効果を有する。分極反転構造は周期的に存在する為、光は周期的に並んだ凸レンズの列により収束しながら伝搬し、離散型構造にも係わらず回折による伝搬損失が低減し、光がレンズ構造により閉じ込められる為、導波路側面部(20)(21)の精度が伝搬損失に影響を与えない効果が得られる。

【0027】ここでこのような収束型の導波路構造に光が閉じ込められる条件を求めてみる。本構造の中を伝搬する光の状態をガウスビーム伝搬を仮定した、光線マトリックス法で解析してみる。まず分極反転部の中央部(22)に於いて導波路を伝搬する光の波面を $P$ とする。分極反転部と非反転部の境界面(17)(23)の球面構造によって作られるレンズによる焦点を各々 $f_1$ 、 $f_2$

とし、分極反転部、と非反転部の長さを $L_1$ 、 $L_2$ とすると、分極反転部の中央(22)の光が伝搬し、次の周期の分極反転部の同一部位(25)まで到達するまでの、光の状態変化は、光線マトリックス法によって計算\*

\*される。

【0028】伝搬に伴う光線マトリックス[M]は次式で与えられる(但し、 $j^2 = -1$ )。

【数1】

$$\begin{aligned} [M] &= \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jL_1/2k_1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & jk_2/f_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jL_2/k_2 & 1 \end{bmatrix} \\ &\quad \times \begin{bmatrix} 1 & jk_1/f_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jL_1/2k_1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

…式(1)

【0029】式(1)で右辺の各マトリックスは各々分極反転部(15)での伝搬、球面(17)での屈折、分極非反転部(24)での伝搬、球面(23)での屈折、分極反転部(26)での伝搬を示す。ここで、 $k_1$ 、 $k_2$ は各々分極反転部、非反転部の伝搬係数であり、各々※

※の屈折率を $n_1$ 、 $n_2$ とすれば、次式で示される。

$$k_1 = 2\pi n_1 / \lambda, \quad k_2 = 2\pi n_2 / \lambda$$

【0030】伝搬の開始点(22)の波面Pに対して終了点(25)の波面は次式で与えられる。

$$(M_{11} \times P + M_{12}) / (M_{21} \times P + M_{22}) \quad \dots \text{式(2)}$$

【0031】これが元の波面Pと等しい平面波になる条件を求めれば、光は周期的なレンズ構造の中に閉じ込められ、回折損失無しで伝搬することになる。

★法を述べる。 $f_1$ 、 $f_2$ は分極反転部と非反転部の境界となる曲面の曲率半径を $R_1$ 、 $R_2$ とすれば、幾何光学の一般式から、

【0032】次により簡便に近似的にfの値を求める方★20

$$\begin{aligned} f_1 &= \{n_2 / (n_1 - n_2)\} \times R_1 \\ f_2 &= \{n_1 / (n_1 - n_2)\} \times R_2 \end{aligned}$$

…式(3)

となっている。

☆とし、 $R_1 = R_2 = R$ とすれば、 $f_1 \approx f_2 = f$ 、 $k_1 \approx k_2$ と置くことで、 $M_{11} = M_{22}$ となり、またはこの場合の分極反転部の中央に於けるスポット径Sは、

【数2】

$$\begin{aligned} S^2 &= 1/P \\ &= \sqrt{M_{21}/M_{12}} \\ &= \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{2k}} \\ &\quad \times \sqrt{\frac{(f - L_1/2) \{f - L_1 \times L_2 / \{2(L_1 + L_2)\}\}}{(f - L_2/2)}} \end{aligned}$$

…式(4)

で与えられる。式(4)より有意なスポット径Sが存在◆ ◆するための条件として

$$\begin{aligned} &(f - L_1/2) \times (f - L_2/2) \\ &\quad \times [f - L_1 \times L_2 / \{2(L_1 + L_2)\}] \geq 0 \quad \dots \text{式(5)} \end{aligned}$$

これより

$$\begin{aligned} &L_1 > L_2 \text{ の場合} \\ &\quad f \geq L_1/2 \text{ または } L_2/2 \geq f \geq L_1 \times L_2 / \{2(L_1 + L_2)\} \\ &L_2 > L_1 \text{ の場合} \\ &\quad f \geq L_2/2 \text{ または } L_1/2 \geq f \geq L_1 \times L_2 / \{2(L_1 + L_2)\} \end{aligned}$$

…式(6)

が与えられる。式(3)より $n_1$ と $n_2$ に余り差がない \* (4)は  
場合、 $f \gg L_1/2$ 、 $L_2/2$ の条件が成立し、式 \* 【数3】

$$S^2 = \sqrt{(L_1 + L_2) \times f} / 2k \quad \dots \text{式(7)}$$

で示される。

※するスポット径Sが光導波路の幅Dより狭いことが必要であり、式(7)より下記の条件が導かれる。

【0034】無損失で光が伝搬する他の条件として伝搬※

$$D^4 \times 4k^2 / (L_1 + L_2) > f \quad \dots \text{式(8)}$$

式(6)、式(8)が本発明において、離散型光導波路構造のSHG素子で光が損失なく伝搬するための条件である。

【0035】続いて、本発明の素子の構造の第1実施例を図1を用いて説明する。基板(27)としてはKTP単結晶のZ板を用い、Z面(28)よりイオン交換法により円筒形の分極反転部(29)を形成した。光の伝搬方向に対して、分極反転部の境界面は球面であることが望ましいが、簡便の為Z面に垂直な方向では曲率半径が無限大の平面とし、Z面方向にのみ曲率を設けた円筒形とした、この場合、Z面に垂直な方向では式(8)を満足させることはできないが、Z面方向のみ、式(6)、式(8)を満足させる条件とすることで、損失の低減を図った。

【0036】図6に図1の第1実施例の素子の作成方法\*

\*を示す。KTP基板(30)のZ面にTiの薄膜(31)を形成する。次にフォトレジスト(32)をコートし、分極反転部の形状を有するフォトマスク(33)によりフォトレジストを露光現像し、フォトレジストにボタンを形成する(34)。さらに化学エッチングでTiにボタン(35)を形成し、 $Ba(NO_3)_2$ と $RbNO_3$ の混合溶液中で熱処理することで、KTPのKイオンの一部がRb(ルビジウム)に置換し、分極反転構造(36)が形成される。Ti薄膜を除去することで素子が完成する(37)。

【0037】図1の第1実施例における各部の寸法と屈折率を表1に示す。ここでは分極反転部のボタンを円形とすることでプロセスを簡便にした。

【0038】

【表1】

部位	値
$L_1 = 2 \times R$	$3 \mu m$
$L_2$	$1.5 \mu m$
$D = 2 \times R$	$3 \mu m$
R	$1.5 \mu m$
$n_1$	$1.7644 (\lambda = 1.06 \mu m)$ $1.8042 (0.53 \mu m)$
$n_2$	$1.7399 (\lambda = 1.06 \mu m)$ $1.7790 (0.53 \mu m)$

【0039】この様な条件下での波長 $1.06 \mu m$ 、SHG光 $0.53 \mu m$ での光の伝搬状態を示す。波長 $1.06 \mu m$ に対しては、式(3)より

$$f = 108 \mu m$$

$$k = 10 \mu m^{-1}$$

式(6)の条件では $L_1 > L_2$ の場合で、 $f > L_1 / 2 = 1.5 \mu m$ が成立している。

また式(8)の条件では

$D' \times 4k^2 / (L_1 + L_2) = 7862 \mu m > f$ が成立している。この場合の伝搬する光のスポット径は式(7)より $S = 1 \mu m$ である。

またSHG光についても同様に、式(6)、式(8)を満たす条件が成立している。

【0040】図1の第1実施例における素子でSHG光出力を得る為の装置と結果を図7(a)、(b)、

(c)に示す。図7(a)は測定系であり、SHG素子(38)に波長 $1.06 \mu m$ のYAGレーザの出力光(39)がレンズ(40)を通して収束される。出力光はレンズ(41)と、 $1.06 \mu m$ をカットし $0.53 \mu m$ を透過するフィルター(42)を通して、スクリー

ン(43)に投影される。実験は従来の矩形のセグメント構造を持つ素子と、図1に示す本発明の第1実施例の構造を持つ素子で、基準寸法が同一のもので比較を行った。図7(b)は従来の構造の素子によるスクリーン上のボタン、図7(c)は本発明の素子構造のスクリーン上のボタンである。従来構造では収束されたスポット(44)の回りに各分極反転構造からの散乱光(45)が見られるのに対して、本発明の構造では、スポット(46)のみが得られた。また入射光からSHG光の変換効率も従来の構造に対して約10倍以上が得られた。

【0041】本発明では基板としてKTPが用いられたが、他の実施例として非線形光学材料であるニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウム、また有機非線形材料を用いることも可能である。

【0042】本発明の第1実施例では入射光とSHG光の疑似位相整合の為の条件として、周期的な分極反転構造を用いたが、他の実施例として分極反転を伴わない周期的な屈折率変化のみで疑似位相整合を行う構造でも、同様な収束形の導波路構造を取ることで、高効率のSHG、THG(三次高調波)等の高調波発生素子を得ること



とができる。

【0043】本発明では分極反転の境界部が略円筒面となったが、他の実施例として分極反転のためのイオン交換の条件が異なる材料、例えば、タンタル酸リチウムを用いれば、球面を形成することが可能であり、より効率の高い素子を得ることができる。

【0044】次に、図9は従来の導波路型SHG素子への光結合の様子を示す。図10は従来の導波路型SHG素子の入射端面近傍の光結合の様子を拡大して示す。入射光の光軸(51)と導波路の光軸(52)のずれ(53)が結合損失の原因となる。このような光結合における光軸のずれに対する損失の増加の様子は光ファイバーの接続等の例で詳細に理論検討が成されており、例えば光通信要覧(平山博他編、科学新聞社発行、1984年)226頁に示す様に、軸ずれ量が導波路の幅に対して1/3程度で損失が1dBを越えることになる。即ちSHG素子の様に、シングル横モードの導波路の場合には導波路の幅は数μm程度であり、従って軸ずれの限界も数μmとなり、非常に高精度の位置合わせ機構が必要となる。

【0045】本発明の第2実施例について図8を用いて\*

$$f = \{n_1 / (n_1 - n_0)\} \times R$$

となっている。

【0047】光導波路(54)と光結合部(56)の距離(60)を上記の焦点距離fとほぼ等しくおく事で、入射光の光軸が導波路の光軸に対してずれ(57)をもっている場合でも光結合部(56)のレンズ効果により、光は光軸(59)に従って、光導波路(54)に導かれる。

【0048】また図12に示す様に入射光のビーム径が光導波路の幅より大きな径(61)をもっている場合でも光結合部(56)のレンズ効果により入射光を効率良く導波路(54)に結合することが可能である。従って、端面部(56)は、離散型でない光導波路構造においても有用である。

【0049】本発明の第3実施例を図13に示す。本実施例の高調波発生素子の光導波路の部分は、図1の第1実施例の光導波路と同様である。すなわち、離散型導波路を有する疑似位相整合形高調波発生素子において、分極反転部の境界を略曲面とすることにより、導波路を伝搬する光が集束し、高効率で高調波の発生が可能となる。

【0050】第2実施例と同様に素子基板はKTPを用い光結合部(62)と、光導波路と疑似位相整合の兼用部(63)とは一部イオンを他のイオンに置換することによって形成している。

【0051】本実施例では導波路自体が光の集束機能を有する為、光結合部(62)と光導波路部(63)の間隔は光結合部(62)によって形成されるレンズ構造の焦点距離と正確に合わせる必要性はない。

\*説明する。素子は入射端面部を除き光導波路(54)が形成しており、かつ位相整合の為の周期的な分極反転構造(55)が設けられている。SHG素子基板はKTPであり、位相反転構造はRbNO<sub>3</sub>とBa(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>の混合溶液中で熱処理することで、KTP基板のKイオンをRbイオンに置換し、かつBa(バリウム)を不純物として拡散することで形成する。導波路構造はRbNO<sub>3</sub>のみの熱処理を行いKをRbに置換することで屈折率のみが増加するよう形成している。端面の光結合部(56)は球面状の半円形にNイオンを注入することにより屈折率を増加させ、レンズ状の構造を形成している。

【0046】図11に本発明の第2実施例である素子端面部の拡大図を示す。端面部の光結合部(56)によって形成されるレンズ状構造の焦点距離をfとすれば端面から入射される光は全て焦点距離fの所で一点に集束される。基板と光結合部(56)の屈折率を各々n<sub>1</sub>、n<sub>0</sub>とし、光結合部の曲率半径(58)をRとすれば、光結合部(56)によって形成されるレンズの焦点距離fは、

$$\dots式(9)$$

【0052】しかし図14に示す様に、非常に大きな直径(64)を持つ入射光と、大きな軸ずれを許容する為には、第2実施例同様に光結合部(62)によって形成されるレンズ構造の焦点距離と、光結合部(62)と光導波路(63)の間隔(65)をほぼ等しくしている。

【0053】本発明の第4実施例を図15に示す。本実施例では、光結合部の構造を複数のレンズ構造(66)から形成している。第3実施例の図14で示した様に、大きな軸ずれを許容する場合には、導波路との間隔(65)も大きくなり、素子全体を長くする必要がある。本実施例では複数のレンズ構造により、光結合部を実質的に短くしている。

【0054】本発明の第5実施例を図16に示す。第2、第3、第4の各実施例では光結合部の屈折率変化と分極反転部を異なる物質の置換で達成している。本実施例では光結合部と位相反転部は同一の物質からなる同一のイオン置換プロセスで達成したものである。図16は第4実施例について適用した例であるが、第3実施例についても同様な手法が適用可能である。

【0055】上述したような光結合部(56)(62)を用いることによってSHG変換の許容波長が広がるので、安価なレーザを用いることができる。

【0056】上記実施例のうち図16に示す第5実施例について素子作成プロセスの概要を図17に示す。このプロセスは図6に示した第1実施例のプロセスとほぼ同様である。すなわち、まず、KTP基板(67)のZ面にTiの薄膜(68)を形成する。次にフォトリソト(69)をコートし、分極反転部の形状を有するフォ

トマスク(70)によりフォトリソを露光現像し、フォトリソにボタンを形成する(71)。さらに化学エッチングでTiにボタン(72)を形成し、Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>とRbNO<sub>3</sub>の混合溶液中で熱処理することで、KTPのKイオンの一部がRbに置換し、分極反転構造(73)が形成される。Ti膜を除去することで素子が完成する(74)。

【0057】ボタンとしては分極反転部は直径3μm、中心の間隔4.5μmとし、入射端面のみ直径6μmの半円状のレンズ構造を構成した。

【0058】図18(a)は本発明の実施例における光結合効率の測定を行う実験系を示す。波長安定化された半導体レーザ(75)の出力光をレンズ(76)でSHG素子(77)に集束する。SHG素子の出力光はレンズ(78)で集束し、基本波を透過せずSHG波のみ透過する光学フィルター(79)を通過して光検出器(80)に集束する。SHG素子は光軸に垂直方向に微動して、軸ずれを調整し、SHG素子の出力光を測定した。図18(b)に示すように、本実施例の場合(81)は端面に光結合構造を有しない従来のSHG素子(82)に比べて軸ずれの許容値が広がり、同時に結合効率も向上していることがわかる。

【0059】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明によれば、従来の分散型分極反転構造による高調波発生素子にあった、変換効率が低く、光が収束しない等の問題点が解消され、効率が高い高調波発生素子を得ることが可能となるものである。また、本発明による高調波発生素子と半導体レーザと組み合わせることで、従来困難であった小型の青-緑色の波長の光源を、安価に得ることができ

る。【0060】また、本発明によれば、従来の導波路構造の高調波発生素子にあった、光結合に高い機械的精度が要求され、更に光結合の効率が低いという問題が解消され、本素子と半導体レーザを組み合わせることで効率が高い緑-青領域の短波長光源を容易に得ることができ

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例を示す高調波発生素子の構造図である。

【図2】従来の分散型導波路構造を有するSHG素子の構造を示す図である。

【図3】従来の分散型導波路構造を有するSHG素子の光の伝搬状況を示す模式図である。

【図4】従来の分散型導波路構造を有するSHG素子での光損失の発生する状況を示す図である。

【図5】本発明の高調波発生素子の光伝搬の原理を示す図である。

【図6】本発明の実施例の素子の作成プロセスを示す図である。

【図7】(a)は本発明の実施例のSHG素子を用いたSHGの発生装置の図、(b)は従来のSHG素子により得られたSHG光の収束状況を示す図、(c)は本実施例のSHG素子により得られたSHG光の収束状況を示す図である。

【図8】本発明の第2実施例を示す図である。

【図9】従来の導波路形SHG素子を示す図である。

【図10】従来の導波路形SHG素子の入射端面近傍の拡大図である。

10 【図11】第2実施例の光入射端面の拡大図である。

【図12】第2実施例で入射光のビーム系が導波路の幅より広い場合を示す図である。

【図13】第3実施例を示す図である。

【図14】第3実施例で入射光のビーム系が大きい場合を示す図である。

【図15】第4実施例を示す図である。

【図16】第5実施例を示す図である。

【図17】第5実施例のSHG素子の作成プロセスを示す図である。

20 【図18】(a)は第5実施例における集束光と導波路との軸ずれに対する、SHG変換効率を測定する為の装置を示す図、(b)はその測定結果を示す図である。

【符号の説明】

- |    |                              |
|----|------------------------------|
| 1  | 分極反転部分                       |
| 2  | SHG素子基板                      |
| 3  | SHG素子入射光                     |
| 4  | SHG出力光                       |
| 5  | 分極反転部分                       |
| 6  | SHG素子基板                      |
| 7  | SHG素子断面方向から見た伝搬光の強度分布        |
| 8  | SHG素子上面方向から見た伝搬光の強度分布        |
| 9  | 分極反転部分                       |
| 10 | 分極反転部分が放出する光                 |
| 11 | 光導波路の幅                       |
| 12 | 光導波路からの光の放出角度                |
| 13 | 周期構造での次の分極反転部                |
| 14 | 光導波路の基板との境界部分                |
| 15 | 分極反転部分                       |
| 16 | 光伝搬方向での分極反転部と非反転部の境界         |
| 17 | 光伝搬方向での分極反転部と非反転部の境界         |
| 18 | SHG素子基板                      |
| 19 | 導波路構造を伝搬する光                  |
| 20 | 導波路側面部                       |
| 21 | 導波路側面部                       |
| 22 | 分極反転部の中央部                    |
| 23 | 次の要素における光伝搬方向での分極反転部と非反転部の境界 |
| 24 | 分極反転部の間の分極非反転部               |
| 25 | 次の分極反転部の中央部                  |
| 26 | 次の分極反転部                      |

15

16

- 27 本発明の実施例におけるSHG素子の基板  
 28 KTPのX面  
 29 KTPをイオン交換した分極反転部  
 30 KTP基板  
 31 Ti膜  
 32 フォトリソ  
 33 フォトマスク  
 34 現像後のフォトリソ  
 35 Ti薄膜のボタン  
 36 イオン交換された素子  
 37 完成した素子構造  
 38 本発明の実施例のSHG素子  
 39 YAGレーザ光  
 40 レンズ  
 41 レンズ  
 42 光フィルター  
 43 スクリーン  
 44 従来のSHG素子構造における収束スポット  
 45 従来のSHG素子構造における回折散乱光  
 46 本発明の実施例のSHG素子構造における収束  
 スポット  
 51 従来のSHG素子への入射光の光軸  
 52 従来のSHG素子の導波路の光軸  
 53 光軸のずれ  
 54 第2実施例の光導波路  
 55 第2実施例の位相反転構造  
 56 第2実施例の端面部の光結合部  
 57 入射光と導波路の光軸ずれ

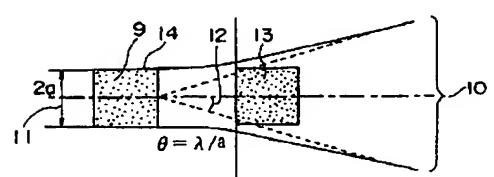
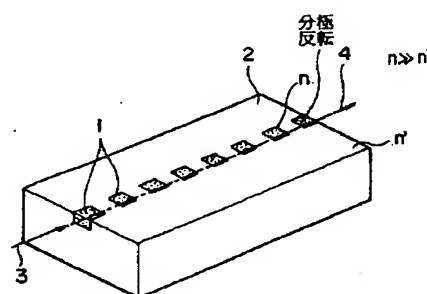
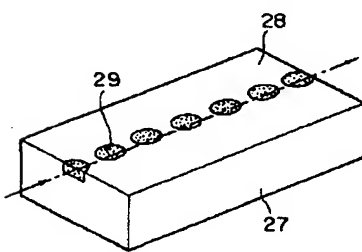
- \* 58 光結合部の曲率半径  
 59 光結合部を出た所の光軸  
 60 導波路と光結合部の距離  
 61 入射光の直径  
 62 第3実施例の光結合部  
 63 第3実施例の導波路部  
 64 第3実施例の非常に大きな入射光の直径  
 65 第3実施例の光結合部と導波路の間隔  
 66 第4実施例の複数のレンズ構造  
 10 67 KTP基板  
 68 Ti薄膜  
 69 フォトリソ膜  
 70 フォトマスク  
 71 フォトリソボタン  
 72 Tiボタン  
 73 分極反転構造  
 74 完成した素子  
 75 半導体レーザ  
 76 レンズ  
 77 SHG素子  
 78 レンズ  
 79 光学フィルター  
 80 光検出器  
 81 実施例の場合の光軸ずれに対するSHG出力の  
 変化  
 82 従来例における光軸ずれに対するSHG出力の  
 変化

\*

【図1】

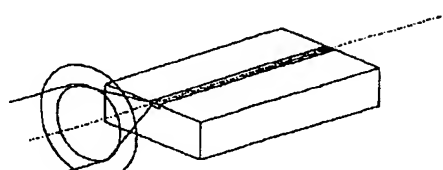
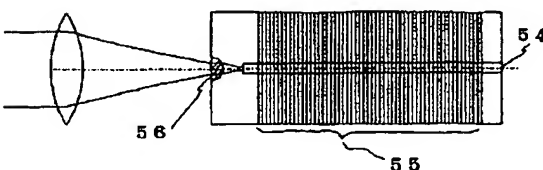
【図2】

【図4】

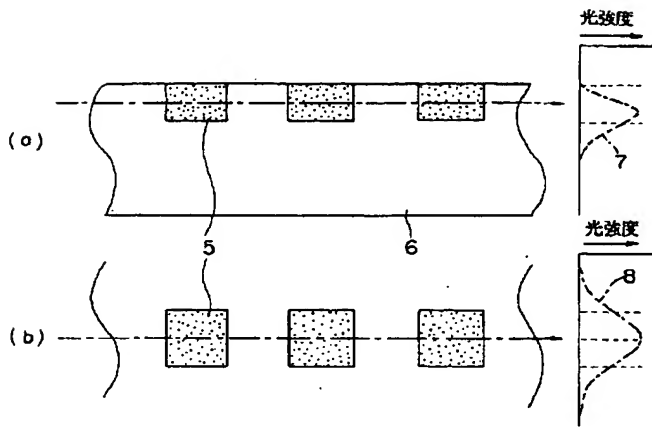


【図8】

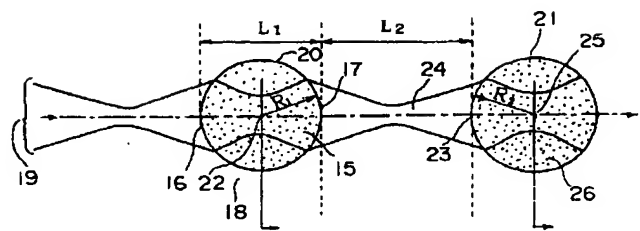
【図9】



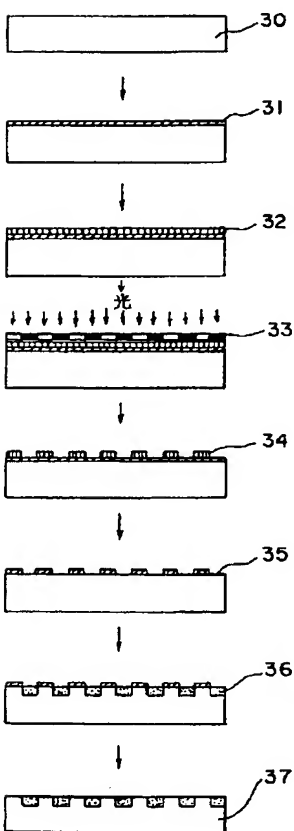
【図 3】



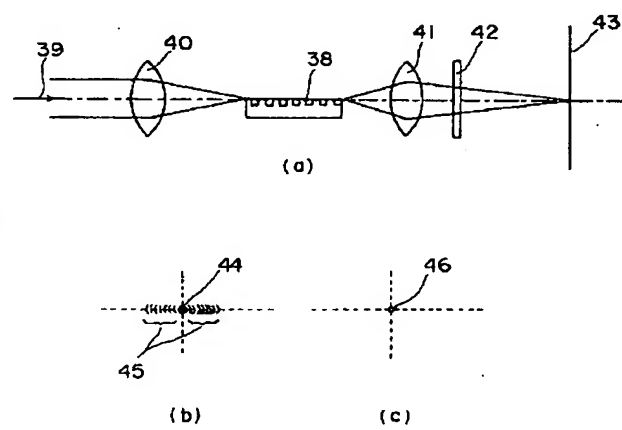
【図 5】



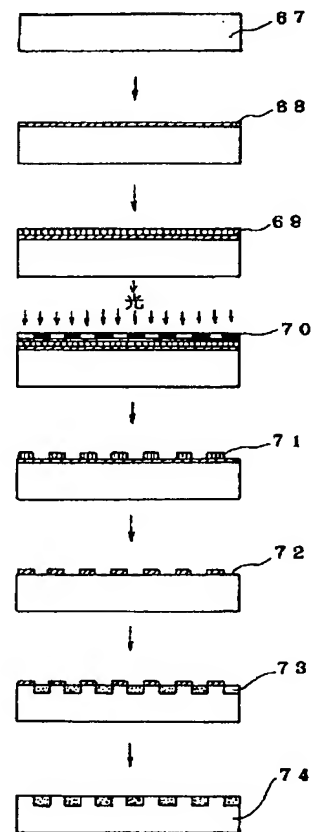
【図 6】



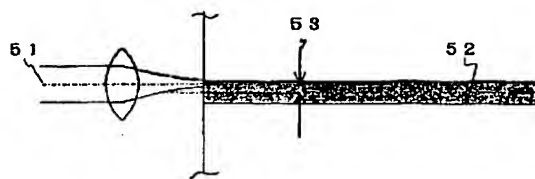
【図 7】



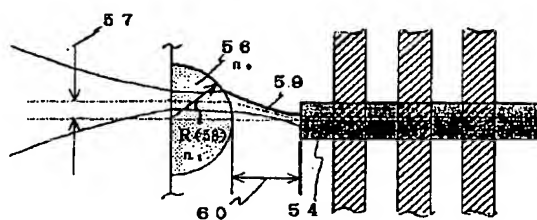
【図 17】



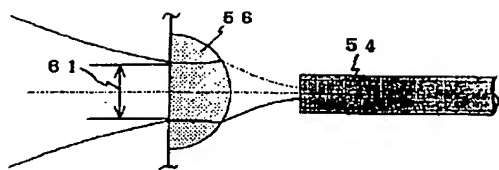
【図 10】



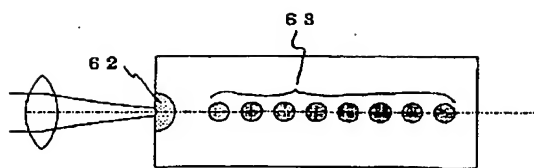
【図 11】



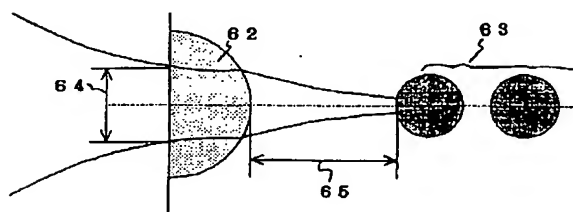
【図12】



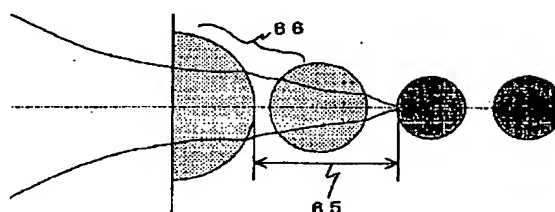
【図13】



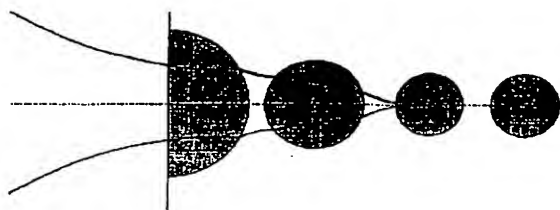
【図14】



【図15】

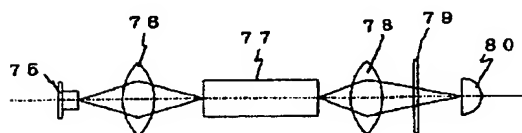


【図16】

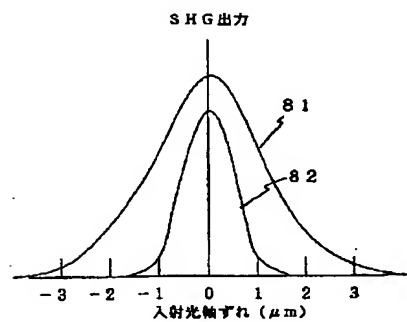


【図18】

(a)



(b)



BEST AVAILABLE COPY